

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-173818

(P2000-173818A)

(43) 公開日 平成12年6月23日 (2000.6.23)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 F 5/06		H 0 1 F 5/06	T 5 E 0 4 4
41/12		41/12	E 5 H 6 0 4
H 0 2 K 3/30		H 0 2 K 3/30	5 H 6 1 5
15/12		15/12	D

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-342538

(22) 出願日 平成10年12月2日 (1998.12.2)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 尾畑 功治

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 東村 豊

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(74) 代理人 100068504

弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

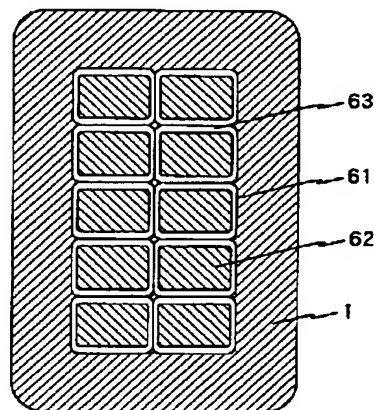
(54) 【発明の名称】 コイルおよびコイル製造方法

(57) 【要約】

【課題】 樹脂中に粉末状高熱伝導充填材を含有した従来のコイルよりも課電劣化特性、機械特性および熱特性に優れたコイルおよびコイル製造方法を提供する。

【解決手段】 コイルの導体62の回りに素線絶縁63を施したコイル導体61を束ね、束ねたコイル導体61の回りにプリプレグテープ20をマイカ面が導体62側になるように重ね巻きして絶縁体1を設ける。プリプレグテープ20は、マイカテープ21とアルミナクロス23とを貼り合わせ後、乾燥、半硬化させて作った。マイカテープ21は、鱗片状の硬質集成マイカに樹脂を塗布した樹脂含浸マイカである。

図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】絶縁層と、

高熱伝導体を含む高熱伝導材料からなる繊維、クロスもしくはマットを含む層とを積層したハイブリッド型絶縁層構造の主絶縁体を有し、

前記主絶縁体中における前記繊維、クロスもしくはマットを含む層の割合が10Vol%以上で、

前記繊維、クロスもしくはマットを含む層の前記高熱伝導体の含有率が5Vol%以上であることを特徴とするコイル。

【請求項2】前記絶縁層は、集成マイカ、フレックマイカ、ガラスフレック、またはセラミックフレックを含み、

前記高熱伝導体は、窒化アルミ、窒化珪素、窒化硼素、アルミナ、酸化ベリリウム、酸化マグネシウム、シリカ、弗化珪素、弗化アルミ、弗化カルシウム、弗化マグネシウム、炭化珪素、半導体の窒化物、酸化物、弗化物、炭化物を含むことを特徴とする請求項1のコイル。

【請求項3】絶縁性シートもしくは絶縁性テープと、高熱伝導材料からなる繊維、クロスもしくはマットとを貼り合わせ形成したシートもしくはテープをコイル導体に巻き付け、成型するコイル製造方法において、

前記絶縁性シートまたは前記絶縁性テープは、集成マイカ、フレックマイカ、ガラスフレック、またはセラミックフレックを含み、

前記高熱伝導材料は、窒化アルミ、窒化珪素、窒化硼素、アルミナ、酸化ベリリウム、酸化マグネシウム、シリカ、弗化珪素、弗化アルミ、弗化カルシウム、弗化マグネシウム、炭化珪素、半導体の窒化物、酸化物、弗化物、炭化物を含むことを特徴とするコイル製造方法。

【請求項4】絶縁性シートもしくは絶縁性テープと、高熱伝導材料からなる繊維、クロスもしくはマットとを貼り合わせ形成したドライシートもしくはドライテープをコイル導体に巻き付け、樹脂含浸、成型するコイル製造方法において、

前記絶縁性シートまたは前記絶縁性テープは、集成マイカ、フレックマイカ、ガラスフレック、またはセラミックフレックを含み、

前記高熱伝導材料は、窒化アルミ、窒化珪素、窒化硼素、アルミナ、酸化ベリリウム、酸化マグネシウム、シリカ、弗化珪素、弗化アルミ、弗化カルシウム、弗化マグネシウム、炭化珪素、半導体の窒化物、酸化物、弗化物、炭化物を含むことを特徴とするコイル製造方法。

【請求項5】請求項1のコイルを用いた回転電機および変圧器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は熱伝導率の高いコイルおよびコイル製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】回転電機や変圧器などの電気機器のコイルでは、コイル主絶縁体の熱伝導率を向上させるため、主絶縁体を構成する樹脂中に熱伝導率の高い粉末状充填材を含有させることが提案されている。このように熱伝導率を向上させるコイルでは、とりわけ、マイカを主体とした高圧コイルでは、特開昭63-110929号があり、少なくとも90重量%が0.1~15 $\mu$ mの粒径を有する固有熱伝導率が5W/mK以上の充填材を含有するコイルが提案されている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、前記の例のように含浸樹脂に粉末状高熱伝導充填材を含有させてコイル主絶縁体の熱伝導率を向上させる高圧コイルでは、コイル作製において、含浸後、樹脂を加熱硬化させる間に樹脂および充填材が流れ出す、あるいは、流動するため、絶縁体中の樹脂と充填材の含有率および分布の制御が困難であった。

【0004】また、含浸樹脂に粉末状充填材を含有させると樹脂粘度が上昇するため、コイル導体素線間付近の樹脂溜部、コイル絶縁体角部、マイカテープ端部等に樹脂が十分流れずボイドが残り、さらに加熱硬化時に加圧する場合にはマイカ層に必要以上の応力が加わりマイカ層が破壊される問題が生じた。

【0005】このようなコイルを高圧コイルとして使用する際には、前者の不均一性は主絶縁体中に温度分布の偏りや主絶縁体の部分的な剥離やクラックを生じさせ、異常加熱による熱的破壊を引き起こす問題があった。また、主絶縁体中に電気的弱点部を発生させ絶縁耐力を低下させる問題があった。

【0006】一方、後者のボイドやマイカの破壊部での部分放電は、コイル主絶縁体の部分放電劣化を促進し、課電劣化寿命を短くする問題があった。実際、一般にマイカを主体とした高圧コイルでは8.5kV/mmの電界での課電劣化試験では寿命は2000時間程度であるのに比し、提案されたコイル主絶縁体は500時間で絶縁破壊した。

【0007】さらに、高圧電気機器、とりわけ回転電機では、コイルは遠心力等の機械応力や電磁応力等により、変位、振動するため、コイル主絶縁体は機械的強度に優れている必要があるが、含浸樹脂に粉末状充填材を含有させたコイルでは、主絶縁体中の、とりわけマイカ層中の樹脂含有率が、一般のマイカを主体としたコイル主絶縁体に比し低く、マイカ片間の接着力が低いため、マイカ層の層間剥離が生じやすい。また、樹脂に粉末状充填材を加えることにより主絶縁体の脆性が増す問題があった。

【0008】さらに、前記の主絶縁体の組織的な不均一性や欠陥は、微視的な応力集中を引き起こし、機械的強度、なかでも疲労特性を低下させる問題があった。

【0009】本発明の目的は、樹脂中に粉末状高熱伝導

充填材を含有した従来のコイルよりも課電劣化特性、機械特性および熱特性に優れたコイルおよびコイル製造方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明のコイルは、主絶縁体中に高熱伝導体を含む高熱伝導材料からなる繊維、クロスもしくはマットを用いる。これらの繊維、クロスもしくはマットと、絶縁性、例えば耐電圧、耐コロナ性、低誘電損、耐熱性に優れた絶縁層とを積層してハイブリッド型絶縁層構造の主絶縁体を作り、主絶縁体中における繊維、クロスもしくはマットを含む層の割合が10Vol%以上で、繊維、クロスもしくはマットを含む層の高熱伝導体の含有率が5Vol%以上にすれば、主絶縁体の熱伝導率を特に向上させることができる。

【0011】絶縁層は、集成マイカ、フレークマイカ、ガラスフレーク、またはセラミックスフレークを含み、高熱伝導体は、窒化アルミ、窒化珪素、窒化硼素、アルミナ、酸化ベリリウム、酸化マグネシウム、シリカ、弗化珪素、弗化アルミ、弗化カルシウム、弗化マグネシウム、炭化珪素、半導体の窒化物、酸化物、弗化物、炭化物を含むものがよい。

【0012】本発明の他の特徴は、集成マイカ、フレークマイカ、ガラスフレーク、またはセラミックスフレークを含む絶縁性シートもしくは絶縁性テープと、窒化アルミ、窒化珪素、窒化硼素、アルミナ、酸化ベリリウム、酸化マグネシウム、シリカ、弗化珪素、弗化アルミ、弗化カルシウム、弗化マグネシウム、炭化珪素、半導体の窒化物、酸化物、弗化物、炭化物を含む高熱伝導材料からなる繊維、クロスもしくはマットとを貼り合わせ形成したシートもしくはテープをコイル導体に巻き付け、成型してコイルを製造することにある。

【0013】この特徴によれば、硬化時に高熱伝導体が樹脂と共に流れ出ず、硬化前と硬化後で主絶縁体中の高熱伝導体の含有量が一定であり、所望の高熱伝導体や樹脂の含有率および分布を有するコイルを容易に製作でき

る。さらに、樹脂粘度も樹脂の粘度特性のみによって決定されるためコイル作製が容易である。

【0014】絶縁性シートもしくは絶縁性テープと、熱伝導材料からなる繊維、クロスもしくはマットとを貼り合わせる際に、予め、絶縁性シートもしくは絶縁性テープに樹脂を塗布しておいても、熱伝導材料からなる繊維、クロスもしくはマットに樹脂を塗布しておいてもよい。また、ドライシートもしくはドライテープを用いる場合は、コイルに巻き付けてから、樹脂を含浸させてもよい。

【0015】

【発明の実施の形態】（実施例1）本発明の第1の実施例であるコイルを説明する。図1に本実施例のコイルを示す。本実施例のコイルは、導体62の回りに素線絶縁63を施したコイル導体61を束ね、束ねたコイル導体61の回りに絶縁体1を設けたものである。素線絶縁63は、例えばエポキシ樹脂またはアルキド樹脂のような含浸樹脂で硬化したガラス繊維層、マイカテープ層、またはテレフタル酸アルキド、ポリエステルイミド、ポリイミド等のようなエナメル層がよい。

【0016】絶縁体1は、図2に示すプリプレグテープ20をマイカ面が導体62側になるように、束ねたコイル導体61の回りに重ね巻きして設けられている。プリプレグテープ20は、図3に示すように、マイカテープ21と厚さ0.08mmの平織のアルミナクロス23とを貼り合わせ後、乾燥、半硬化させて作った。マイカテープ21は、平均粒径1.38mmの鱗片状の硬質集成マイカにエポキシ当量178のフェノールノボラックと3%の三フッ化ホウ素モノエチルアミン錯体を混合した樹脂を塗布した樹脂含浸マイカである。

【0017】表1の実施例1-1から実施例1-5に示すようなマイカ、樹脂、アルミナ含有率の5種類のプリプレグテープ20を作製し、各プリプレグテープ20をコイルに巻いて加熱し、所定の温度において加圧した。

【0018】

【表1】

【0019】各アブリゲテープ20を用いた硬化後のコイルは、表1の実施例1-1から実施例1-5に示すような主絶縁体のマイカの含有率、樹脂の含有率、アルミナの含有率、アルミナ含有率変動率、熱伝導率、課電劣化寿命、曲げ破壊強度、層間せん断破壊強度、曲げ疲労特性を有する。表1のアルミナ含有率変動率は、コイル主絶縁体の任意の5点におけるアルミナ含有率の平均値に対する、前記含有率の標準偏差の比率である。また、曲げ疲労特性には、コイルに3kg/mm<sup>2</sup>の曲げ応力を10万回加えた後の絶縁破壊強度、初期絶縁破壊強度に対する低下割合を示す。表1には、従来のマイカを主体としたコイルを作製する際に用いたアブリゲマイ

【0021】本実施例では、集成マイカに樹脂を塗布したマイカテープ21と、アルミナクロス23とを貼り合わせてプリプレグテープ20を作製したが、図3の実施

例1-6に示すように、平織のアルミナクロス23に樹脂を塗布しこれを集成マイカと貼り合わせてプリプレグテープ20を作製してもよい。また、集成マイカの代わりにガラスフレックを用いたり、集成マイカとガラスフレックの複合体を用いたりしてもよい。

【0022】また、コイルにプリプレグテープ20を巻く際に、より幅の広いマイカシートを用いることによりテープを重ね巻きする必要がなくなり、短時間でコイル作製ができると同時に、電気的弱点部になりやすいテープ端をなくすることができる。

(実施例2) 本発明の第2の実施例であるコイルを説明する。図4に本実施例のコイルの製造方法を示す。本実施例では、樹脂を含浸していないフレックマイカと平織のアルミナクロスを少量の樹脂(バインダ)で貼り合わせたドライテープを用いる。ドライテープには、表1の実施例2に示すマイカ、樹脂、アルミナ含有率のものをを用いた。このドライテープをコイル導体に巻き付け、樹脂を真空加圧含浸、加熱硬化したコイルを作製した。このコイルは、表1の実施例2に示すような、主絶縁体のマイカの含有率、樹脂の含有率、アルミナ含有率、アルミナ含有率変動率、熱伝導率、課電劣化寿命、曲げ破壊強度、層間せん断破壊強度、曲げ疲労特性を有する。これらのコイルを倍率150倍の高解像度光学顕微鏡で主絶縁体を観察した結果、マイカ層とアルミナクロス層の規則正しい層状構造が認められ、ボイドやマイカ層の剥離は認められなかった。第1の実施例で説明したように、フレックマイカの代わりに、集成マイカ、ガラスフレック、もしくはこれらの材料の複合体を用いてもよい。さらに、第1の実施例で用いたプリプレグテープと併用してもよい。

【0023】(実施例3) 本発明の第3の実施例であるコイルの製造方法を説明する。図5の実施例3-1に示すように、本実施例ではマイカシートもしくはマイカテープを巻き付けると同時に、樹脂を塗布しながら平織の高熱伝導性クロスを重ねて巻き付けて貼り合わせて樹脂を真空加圧含浸し、加熱硬化してもよい。

【0024】また、図5の実施例3-2に示すように、マイカシートもしくはマイカテープを巻き付けると同時に少量の樹脂(バインダ)を塗布しながら平織の高熱伝導性クロスを重ねて所定回数だけ巻回した後、樹脂を真空加圧含浸し、加熱硬化してもよい。

【0025】(実施例4) 本発明の第4の実施例であるコイルを説明する。本実施例では綾織(実施例4-1から4-3)または朱子織(実施例4-4)の高熱伝導性クロスを用いる。第1の実施例から第3の実施例で用いた平織の高熱伝導性クロスでは、クロスの縦糸と横糸とが交差する部分以外の空間の体積率が大きく、クロス中に占める高熱伝導体の含有率は多くとも約35Vol%程度であった。しかし、本実施例で用いる綾織または朱子織の高熱伝導性クロスは、平織のクロスに比べクロス中

の高熱伝導体含有率が5~20Vol%程度高い。綾織または朱子織の高熱伝導性のクロスを用いることにより、平織クロスをを用いたコイルに比べて主絶縁体の熱伝導率を向上させることができる。

【0026】また、縦糸と横糸とが交差する部分以外の空間ではボイドの生成確率が高いが、本実施例では綾織や朱子織のクロスを用いることにより、成型後のコイル主絶縁体中のボイド量を減らし熱伝導率を向上させることができるとともに、ボイドでの部分放電を減少させ部分放電劣化を抑制することができる。さらに、繊維量の増加によりコイル主絶縁体の機械的強度が向上する。

【0027】綾織や朱子織のクロスを用いた硬化後のコイルは、表1の実施例4-1から実施例4-4に示すような主絶縁体のマイカの含有率、樹脂の含有率、アルミナ含有率、アルミナ含有率変動率、熱伝導率、課電劣化寿命、曲げ破壊強度、層間せん断破壊強度、曲げ疲労特性を有する。

【0028】また、高熱伝導性クロスに一方向織のクロスを用いることにより、クロス中の高熱伝導体含有率をさらに増加させることができる。

【0029】(実施例5) 本発明の第5の実施例であるコイルを説明する。本実施例ではアルミナ繊維からなる不織布、ペーパー、フェルトあるいはマットを用いる。また、アルミナ短繊維を予め樹脂に混入させておき、この樹脂をマイカに塗布することによって、アルミナ短繊維をマイカに貼り付けてもよい。

【0030】マイカにアルミナ繊維からなるマットを貼り付けたテープを用いたコイル(実施例5-1)、および、マイカにアルミナ短繊維を貼り付けたテープを用いたコイル(実施例5-2)は、表1に示すような、主絶縁体のマイカの含有率、樹脂の含有率、アルミナの含有率、アルミナ含有率変動率、熱伝導率、課電劣化寿命、曲げ破壊強度、層間せん断破壊強度、曲げ疲労特性を有する。これらのコイルを倍率150倍の高解像度光学顕微鏡で主絶縁体の観察した結果、マイカ層とアルミナ繊維層の規則正しい層状構造が認められ、ボイドやマイカ層の剥離は認められなかった。

【0031】なお、マイカにアルミナ短繊維を貼り付けたテープを用いたコイルには、高熱伝導材料からなる短繊維には長さが数mm程度のチョップドファイバー、数100μm程度のミルドファイバー、さらに短いウィスカーを用いることができる。高熱伝導材料からなる繊維の中でも、特に高熱伝導体を含む層の厚さに比し繊維長の長い繊維を用いたコイルでは、繊維の軸方向と電界の方向が平行になることを防ぐことができ、繊維と樹脂の界面に沿った破壊の進展を防ぐことができる。実施例5-2では、平均繊維長0.1mmの短繊維を用いた。

【0032】図6に、以上の第1の実施例から第5の実施例のアルミナ繊維、クロスもしくはマットを含有する層中のアルミナ含有率に対する前記層の繊維軸もしくは

クロスやマットの面方向に垂直および平行方向の熱伝導率を示す。

【0033】なお、図6の繊維、クロスもしくはマットを含有する層中のアルミナ含有率に対する前記層の繊維軸もしくはクロスやマットの面方向に垂直および平行方向の熱伝導率については、実施例1から9ではアルミナクロスに樹脂を塗布し加熱硬化した板状試料を作製し、また、含浸樹脂にアルミナを含有させたコイルに対しては、ガラス繊維に前記アルミナを37Vol%含有させた樹脂を塗布した板状試料を作製し、これらの試料の熱伝導率を測定した。

【0034】図7に、主絶縁体中におけるアルミナ繊維、クロスもしくはマットを含む層の割合に対する主絶縁体の熱伝導率を示す。図7には、従来のマイカを主体としたコイルの主絶縁体と含浸樹脂に粒径 $1.0\mu\text{m}$ のアルミナを含有させたコイルの主絶縁体の熱伝導率も示す。

【0035】(実施例6) 本発明の第6の実施例であるコイルを説明する。本実施例では、絶縁性シートもしくは絶縁性テープに高熱伝導材料からなるフレーク、例えばアルミナフレークを用いる。

【0036】本実施例では、主絶縁体のコイル導体に接する絶縁層と最外の絶縁層に集成マイカを用い、それ以外の層には平均粒径 $0.52\text{mm}$ 、平均厚 $8.0\mu\text{m}$ のアルミナフレークを表1の実施例1-1のコイルで用いた集成マイカと同じ含有率で用いた。本実施例のコイルでは、熱伝導率は $0.63\text{W/mK}$ であり、課電劣化寿命は2000時間であった。

【0037】また、第1の実施例から第6の実施例のコイル導体の素線絶縁において、ガラス繊維層ではなくアルミナ繊維層を用いることにより、より熱伝導率の高いコイルが得られる。

【0038】以上の実施例では、アルミナ繊維、クロスもしくはマットを用いているが、その他の高熱伝導材料、例えば窒化アルミ、窒化珪素、窒化硼素、酸化ベリリウム、酸化マグネシウム、シリカ、弗化珪素、弗化アルミ、弗化カルシウム、弗化マグネシウム、炭化珪素等の金属あるいは半導体の窒化物、酸化物、弗化物、炭化物等の熱伝導率が高い材料からなる繊維、クロスもしくはマットを用いることにより熱伝導率や課電劣化寿命を向上させることができる。これらの材料からなるクロスを用いた実施例1-2のマイカ、高熱伝導材料、樹脂含有率の構成のコイル主絶縁体では、図8に示すように熱伝導率は $0.50\sim 0.60\text{W/mK}$ であった。なお、課電劣化寿命はいずれも2000時間以上であった。特に他の材料より熱伝導率が高く、かつ、誘電率が小さい窒化硼素クロスを用いたコイルでは、課電劣化寿命は2500時間であった。

【0039】さらに、高熱伝導材料からなる繊維と前記繊維より高強度、高弾性の繊維を複合して用いることに

よりコイル主絶縁体の引張り破壊強度、引張り弾性率、曲げ破壊強度、曲げ弾性率、圧縮破壊強度等の機械的強度を向上させることができる。例えば、アルミナ繊維からなるクロスとアルミナ繊維より高強度、高弾性率のカルボニトライド系珪素繊維からなるクロスとを1:1の比で積層して用いたハイブリッド型のコイル主絶縁体では、主絶縁体の引張り破壊強度はアルミナ繊維からなるクロスだけを用いたコイル主絶縁体の引張り破壊強度より36%大きかった。同様に、樹脂に高熱伝導材料からなる繊維を混入させる場合においても、高熱伝導材料からなる繊維より機械的強度の大きい繊維を樹脂中に添加するか、もしくは機械的強度の大きい繊維もしくはクロスを貼り合わせたマイカに塗布することによりコイル主絶縁体の機械的強度を増加させることができる。

【0040】また、高熱伝導材料からなる繊維と前記繊維より破壊ひずみの大きい繊維と樹脂との接着性が良い繊維を複合させることによりコイル主絶縁体の靱性を向上させることができる。アルミナ繊維からなるクロスにおいてクロスを形成するヤーンのフィラメントにアルミナ繊維とガラス繊維を1:1の比で複合したコイルと、クロスの縦糸および横糸にアルミナ繊維のヤーンとガラス繊維のヤーンを1:1の比で混合して用いたコイルでは、図9に示すように、いずれもアルミナ繊維からなるクロスを用いたコイルより主絶縁体の引張り破壊強度を20%向上させることができた。同様に、ガラスクロスと貼り合わせたマイカテープに、さらにアルミナクロスと貼り合わせたマイカテープを使用することにより、コイル主絶縁体の靱性を増加させることができる。

【0041】繊維複合によってコイルの機械的強度を向上させる方法の他に、繊維を構成する材料の組成を変化させることによっても、繊維ならびにコイルの機械的強度を向上させることができる。例えば、アルミナ繊維にガラスを化学組成比7:3で混合した繊維では、アルミナ99.5%の繊維に比し高強度であり、これを用いることによりコイルの主絶縁体の引張り破壊強度は13%増加した。

【0042】以上の実施例では、マイカシートあるいはマイカテープの片側に高熱伝導性クロスを貼り合わせたが、マイカシートあるいはマイカテープの両側に高熱伝導性クロスを貼り合わせてもよい。これを用いれば、コイル主絶縁体中の高熱伝導体含有率を高め、熱伝導率を向上させることも可能である。このテープをコイル導体に重ね巻きした場合、高熱伝導繊維、クロスがテープ端において連続となるため、熱伝導の効果が大きくなり、コイル主絶縁体の熱伝導率をさらに向上させることができる。

【0043】以上の実施例のコイルによれば、以下の効果と機能が得られる。

【0044】(1) 高熱伝導体に高熱伝導材料からなる繊維、クロスやマットを用いているため、これらをマイ

かに貼り合わせた実施例1-1, 1-2, 5-1, 5-2のプリプレグマイカテープや実施例2のドライマイカテープが作製できる。このため、従来のマイカを主体としたコイルと同様の装置、作業工程で容易にコイル作製を行うことができる。

【0045】(2) 樹脂を真空加圧含浸し、成形して本発明のコイルを得る実施例2および3-2のコイル製造方法では、コイル主絶縁体中のボイドを最も少なくできるため、同一の高熱伝導体含有率では主絶縁体の熱伝導率を高めることができる。

【0046】(3) マイカシートと高熱伝導材料からなるクロスもしくはマットを樹脂を塗布しながらコイル導体に巻き付ける実施例3-1および3-2の方法では、コイル作製前に前記材料を貼り合わせたシートもしくはテープを予め用意する必要がないためテープ作製工程を削減でき、コイル作製工程を短縮化できる。また、予め用意したプリプレグシートもしくはテープでは、樹脂が室温で反応し硬化するためテープの有効使用期間が短く、また、テープに水分が付着すると樹脂の効果が阻害されるため、テープを低温、低温下に管理する必要があるが、実施例3-1および3-2の方法では、前記の管理の必要がなく、製品管理、在庫管理、省資源、廃棄物削減の点においても優れている。

【0047】(4) 高熱伝導材料からなる粒子を樹脂に含有させないため樹脂粘度が増加せず、真空含浸により主絶縁体に樹脂を含浸する場合においても樹脂の主絶縁体中への浸透性は良好である。このため、特に高圧コイルのような主絶縁厚の大きいコイルへの樹脂含浸に対して本発明は有効である。また、プリプレグマイカシートもしくはテープを用いて成型したコイルでは余剰樹脂の流れ出しが良好である。これらのことから、コイル導体の素線間樹脂溜部やコイル角部やテープ端部に樹脂が十分入り、ボイドや剥離のないコイルが得られる。

【0048】(5) 樹脂粘度が樹脂固有の粘度であるため、コイル成型時の樹脂硬化温度や硬化時間に用いた樹脂のカタログ値を用いることができ、最適樹脂粘度でのコイル成型を容易に行うことができる。

【0049】(6) コイル成型前後のアルミナ含有量を測定し、流失アルミナ量の成型前アルミナ量に対する比をアルミナ流失率として表1に示す。表1から、含浸樹脂中に高熱伝導充填剤を含有させたコイルでは、成形時に樹脂とともにアルミナが流れ出しているが、実施例1から5ではアルミナは流れ出していない。このように、本発明のコイルおよびコイル製造方法では、高熱伝導体として繊維、クロスもしくはマットを用いているため、コイル主絶縁体の樹脂硬化時に高熱伝導体が樹脂と共に流れ出ず、主絶縁体中の高熱伝導体含有率は一定である。このため、所望の樹脂および高熱伝導体の含有率ならびに分布を有するコイルを容易に設計、作製することができる。

【0050】(7) 前記実施例1から5のコイルでは、主絶縁体のアルミナ含有率変動率は5%以下であり、樹脂中に粉末状充填材を含有させたコイルに比し小さい。また、高解像度顕微鏡で主絶縁体を観察した結果、ボイドや剥離は認められなかった。このように、本発明のコイル主絶縁体の構造および製造方法を用いることにより、均質で組織的不均一性や欠陥のない高熱伝導率のコイルを得ることができる。

(8) ボイドやマイカ層の剥離、破壊等の欠陥がないため課電劣化特性に優れており8.5kV/mm印加時の課電劣化寿命は2000時間以上である。

【0051】(9) 主絶縁体のマイカ層に樹脂が十分含まれておりマイカ片間の接着力が強固であるため、主絶縁体の層間せん断破壊強度は、従来のマイカを主体としたコイルの主絶縁層の層間せん断破壊強度と同等である。

【0052】(10) 高熱伝導体に繊維、クロスもしくはマットを用いているため、主絶縁体中に高熱伝導体を含有させても絶縁体の脆性が増加せず、曲げ破壊強度は従来のマイカを主体としたコイルで必要とされる曲げ破壊強度15kg/mm<sup>2</sup>以上である。また、疲労特性も従来のマイカを主体としたコイルの主絶縁層の疲労特性と同程度である。

【0053】(11) 高圧コイルとしての使用の際にも、均質な主絶縁体であるためコイル絶縁体の均一な温度分布が得られる。特に、樹脂の欠如にともなう絶縁層の剥離がないため、絶縁体中の部分的な異常加熱による熱的破壊がない。

【0054】(12) 高熱伝導体に高熱伝導材料からなるクロスを用いた場合、繊維の径、単位面積当たりの縦糸、横糸の数および織り方を変えることにより、コイル成形後の絶縁体中の高熱伝導体含有率を容易に増加させることができる。

【0055】(13) 図6および表1に示すように、本発明のコイルでは高熱伝導体に繊維、クロスもしくはマットを用いているため、主絶縁体中に高熱伝導体を含有させても脆性を増加させないで絶縁体中の高熱伝導体含有率を向上させることができ、含浸樹脂に粉末状充填材を含ませたコイルに比し、高熱伝導体含有層の熱伝導率を向上させることができる。また、繊維、クロスもしくはマットは高熱伝導材料の連続体であるため、絶縁体中の高熱伝導体含有率を同一にした場合においても、樹脂中に粉末状充填材を含有させたコイルに比し主絶縁体の熱伝導率が高い。

(14) 高熱伝導材料からなる繊維、クロスもしくはマットを高熱伝導体に用いたコイルでは、図6に示すように、特に高熱伝導材料を含む層における高熱伝導体含有率が5Vol%から10Vol%において高熱伝導材料を含む層の熱伝導率の変曲点があり、この含有率以上において高い熱伝導率を示す。



【0056】(15) また、図7に示すように、主絶縁層中における高熱伝導材料からなる繊維、クロスもしくはマットを含む層の割合が10Vol%以上において、繊維、クロスもしくはマットを含む層の割合により、熱伝導率に差が生じており、前記層の効果が大きくなっている。このことから、高熱伝導材料を含む層における高熱伝導体含有率が5%以上であり、主絶縁体中における高熱伝導材料からなる繊維、クロスもしくはマットを含む層の割合が10Vol%以上であるコイルでは、本発明のコイル主絶縁体の熱伝導率向上効果が特に大きい。図6に示すように、高熱伝導材料からなる繊維、クロスあるいはマットでは、繊維軸方向あるいはクロス面方向に対する熱伝導率が、前記方向に垂直な方向の熱伝導率に比し高い。このため、本発明のコイルではコイルの長手方向の温度分布を均一化でき、特に回転電機や変圧器で本発明のコイルを使用した場合、コイルエンド部などのコアに接しない冷却効率の低い部分の温度を、従来のマイカを主体としたコイルや含浸樹脂に粉末状高熱伝導充填材を含有させたコイルに比し、低下させることができる。また、主絶縁体の一部の突発的な温度上昇に対しても緩和作用がある。

【0057】(16) 本発明のコイルでは、絶縁性や耐熱性に優れた絶縁層と高熱伝導材料からなる繊維、クロス、もしくはマットを含む層を積層した均質なハイブリッド型絶縁層構造が得られるため、コイル主絶縁体は、高耐電圧、高耐熱性、高熱放散性を奏す。また、本発明のコイルでは、コイル主絶縁体がハイブリッド型絶縁層構造を有するため、コイル導体に接する絶縁層やコイル主絶縁体最外層付近の絶縁層にマイカを、それ以外の絶縁層にフレーク状のアルミナを用いるなど、各絶縁層に用いる材料選択の自由度が高い。

【0058】(17) 高熱伝導材料からなる繊維に引張り破壊強度や破壊ひずみや曲げ破壊強度等の機械的強度の高い繊維を用いる、あるいは高熱伝導材料からなる繊維と前記繊維より機械的強度の高い材料を複合して用いることにより、繊維、クロスもしくはマットの機械的強度を増加させ、同時にコイルの機械的強度を向上させることができる。このため、電磁応力の大きい回転電機に対しても資源の乏しいフレークマイカだけでなく、集成マイカを積極的に使用することができる。

【0059】(18) 本発明のコイルを使用した回転電機もしくは変圧器では、コイル主絶縁体の熱伝導率が高いためコイルの熱放散効率が従来の回転電機もしくは変圧器のコイルに比し高い。このため、回転電機もしくは変圧器の冷却設備の簡略化、マシンサイズの縮小化ができる。

## 【0060】

【発明の効果】本発明のコイルでは、高熱伝導体として高熱伝導材料からなる繊維、クロスもしくはマットを用いているため、樹脂硬化時に高熱伝導体が樹脂と共に流れ出ず、硬化後の主絶縁体中の高熱伝導体の含有量が一定であり、所望の高熱伝導体や樹脂の含有率および分布を有するコイルを容易に製作できる。さらに、樹脂粘度も樹脂の粘度特性のみによって決定されるためコイル作製が容易である。また、本発明のコイルを高圧コイルとして使用する際には、絶縁性に優れた絶縁層と高熱伝導繊維、クロスもしくはマットを含む層が規則正しく配列し、ボイドや歪みのない均質なコイル主絶縁体を得られるため、均一な温度分布と、優れた課電劣化寿命が得られる。さらに、回転電機や変圧器で使用に際しても、主絶縁体中において所望の樹脂含有率が得られるため、例えば絶縁層にマイカを用いた場合にはマイカ片間の接着力が高く、高強度な絶縁層が得られ、また、粉末状高熱伝導充填材を樹脂に含有させないため主絶縁体の脆性増加を防ぐことができ、曲げや振動等の機械的変位に対しても十分な機械的強度が得られる。さらに、高熱伝導体に用いる繊維、クロスもしくはマットは高熱伝導材料の連続体であるため、同一の主絶縁体中の高熱伝導材料含有率では、含浸樹脂中に粉末状高熱伝導充填材を含有させた従来のコイルに比べ、主絶縁体の積層方向および沿層方向の熱伝導率が高く、同時に機械的強度にも優れている。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施例のコイルの断面図。

【図2】コイルに用いるマイカテープ。

【図3】プリプレグテープによる本発明のコイル作製方法を示す図。

【図4】ドライテープによる本発明のコイル作製方法を示す図。

【図5】マイカテープとアルミナクロスを別個に巻く本発明のコイル作製方法を示す図。

【図6】コイル主絶縁体中のアルミナ層におけるアルミナ含有率に対する熱伝導率を示す図。

【図7】コイル主絶縁体中のアルミナ層含有率に対する熱伝導率を示す図。

【図8】種々の高熱伝導材料を用いた時のコイル主絶縁体の熱伝導率を示す図。

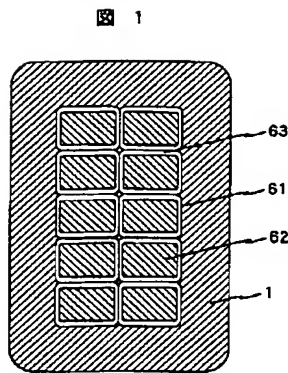
【図9】応力ひずみ図。

## 【符号の説明】

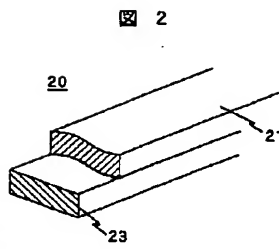
1…絶縁体、20…プリプレグテープ、21…マイカテープ、23…アルミナクロス、61…コイル導体、62…導体、63…素線絶縁。



【図1】

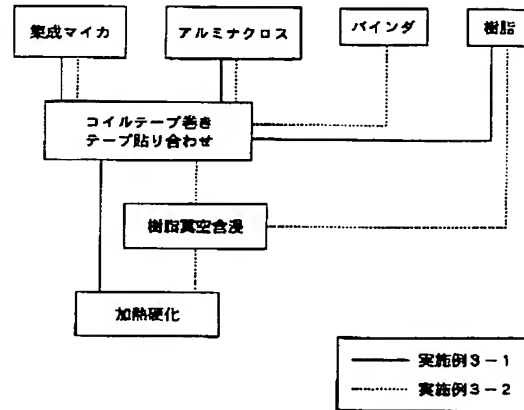


【図2】



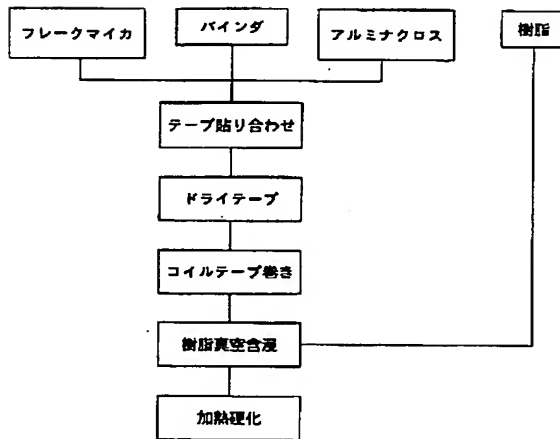
【図5】

図 5



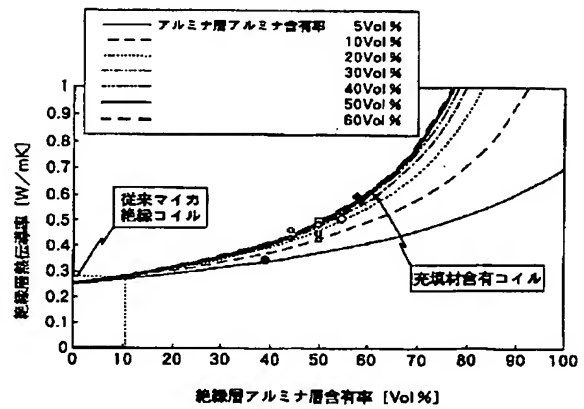
【図4】

図 4



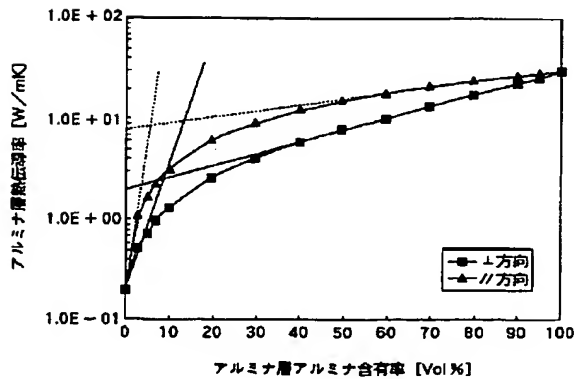
【図7】

図 7



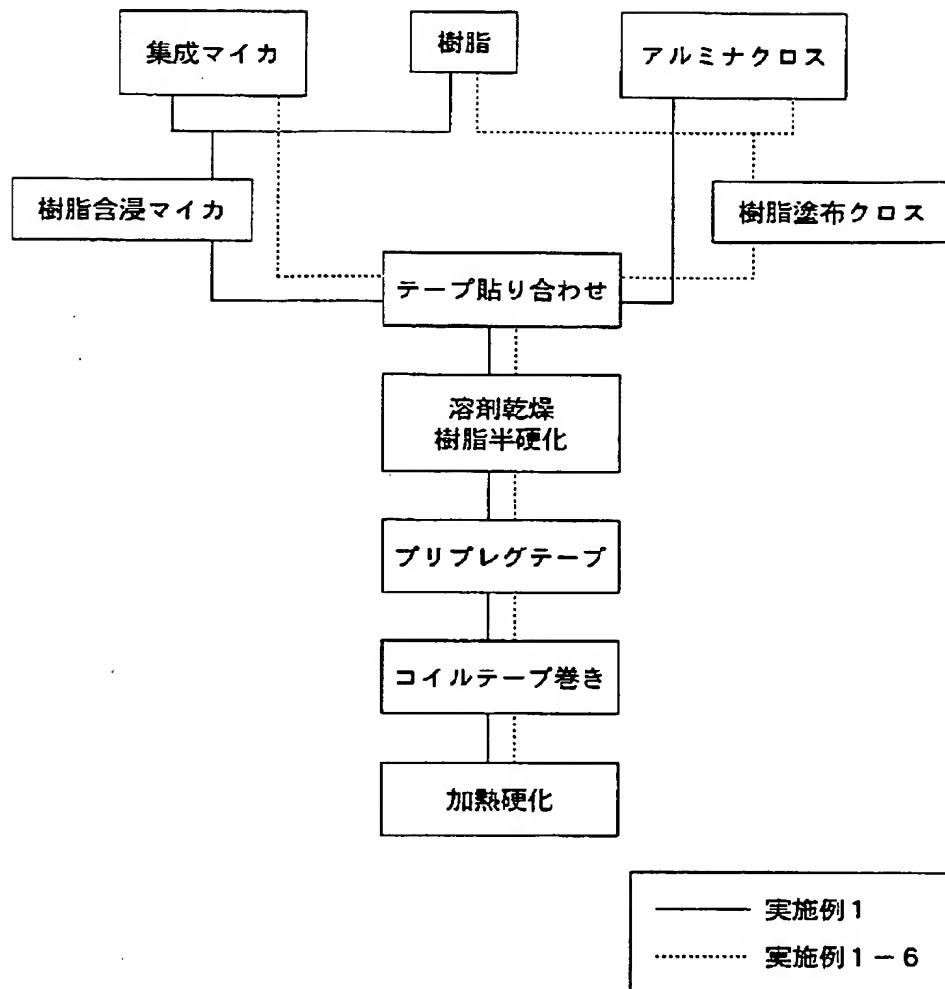
【図6】

図 6



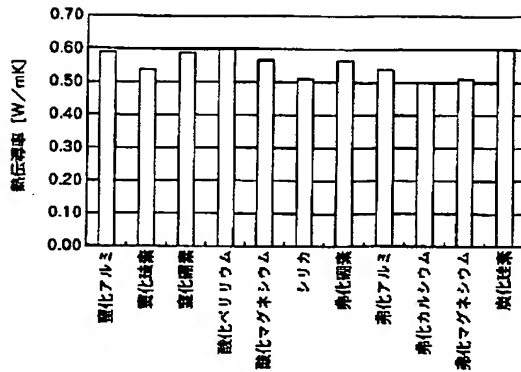
【図3】

図 3



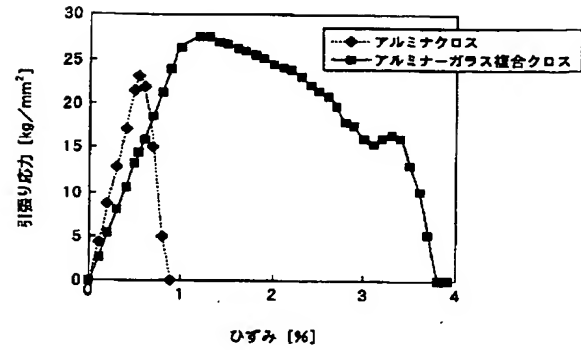
【図8】

図 8



【図9】

図 9



フロントページの続き

(72)発明者 佐藤 隆徳  
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株  
式会社日立製作所日立研究所内  
(72)発明者 武内 良三  
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株  
式会社日立製作所日立研究所内

(72)発明者 天城 滋夫  
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株  
式会社日立製作所日立研究所内  
Fターム(参考) 5E044 CA02 CB03  
5H604 AA03 CC01 CC05 DA01 DA06  
DA07 PB03  
5H615 AA01 PP01 PP12 QQ02 RR02  
RR09 SS11 TT03 TT22 TT23